

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-35919

(P2003-35919A)

(43) 公開日 平成15年2月7日 (2003.2.7)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	データ* (参考)
G 0 2 F 1/35	5 0 1	C 0 2 F 1/35	5 0 1 2 K 0 0 2
H 0 1 S 3/10		H 0 1 S 3/10	Z 5 F 0 7 2
			Z 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/04		H 0 4 B 9/00	J
10/06			S

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-311969 (P2001-311969)

(22) 出願日 平成13年10月9日 (2001.10.9)

(31) 優先権主張番号 特願2000-338748 (P2000-338748)

(32) 優先日 平成12年11月7日 (2000.11.7)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願2001-143737 (P2001-143737)

(32) 優先日 平成13年5月14日 (2001.5.14)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 山中 浩司

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

(72) 発明者 加木 信行

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

(74) 代理人 100089118

弁理士 酒井 宏明

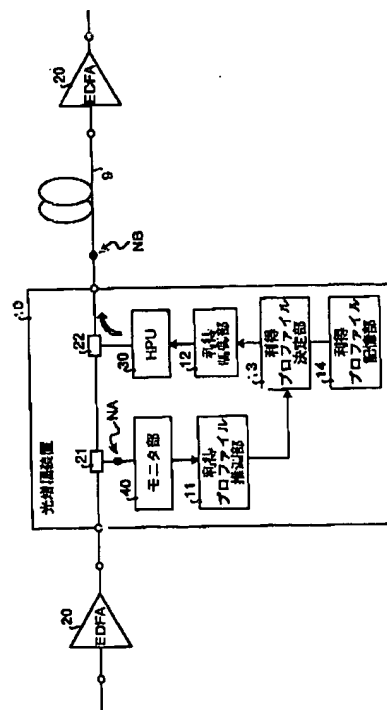
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅装置および光伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 E F F A で生じた利得偏差をラマン増幅によって補償する光増幅装置およびその光増幅装置を設けた光伝送システムを提供すること。

【解決手段】 光増幅装置 1 0 が、前段の E F F A 2 0 から入力された信号光の多重波長範囲に亘る利得偏差を推測し、その利得偏差が最小となる利得プロファイルを利得プロファイル記憶部 1 4 から選出して決定する。そして、決定した利得プロファイルに従って H P U (高出力励起光源) 3 0 を制御し、入力された信号光に対してラマン増幅をおこなう。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 多重化された信号光を入力し、入力した信号光に対し、多重化された波長間の信号光パワーの偏差が最小となる利得でラマン増幅をおこなうことを特徴とする光増幅装置。

【請求項2】 伝送路を伝播する多重化された信号光を分波する分波手段と、  
前記分波手段によって分波された信号光の多重化された波長のすべてまたは一部の信号光パワーを検知するモニタ手段と、  
前記モニタ手段によって検知された各波長の信号光パワーに基づいて、多重化されたすべての波長に亘る信号光パワー分布の偏差を推測する推測手段と、  
前記推測手段によって推測された信号光パワー分布の偏差を最小にするラマン利得制御情報を示した利得プロファイルを、あらかじめ記憶された複数の利得プロファイルから決定する利得プロファイル決定手段と、  
前記利得プロファイル決定手段によって決定された利得プロファイルに従った大きさの励起光を前記伝送路に出力する励起光源と、  
を備えたことを特徴とする光増幅装置。

【請求項3】 伝送路上に複数の集中型光増幅器を具備して構成される光伝送システムにおいて、  
前記集中型光増幅器間の伝送路上に設けられるとともに、前段の集中型光増幅器によって増幅された多重化された信号光を入力し、入力した信号光に対し、多重化された波長間の信号光パワーの偏差が最小となる利得でラマン増幅をおこなう光増幅装置を備えたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項4】 前記光増幅装置は、  
前記伝送路を伝播する多重化された信号光を分波する分波手段と、  
前記分波手段によって分波された信号光の多重化された波長のすべてまたは一部の信号光パワーを検知するモニタ手段と、  
前記モニタ手段によって検知された各波長の信号光パワーに基づいて、多重化されたすべての波長に亘る信号光パワー分布の偏差を推測する推測手段と、  
前記推測手段によって推測された信号光パワー分布の偏差を最小にするラマン利得制御情報を示した利得プロファイルを、あらかじめ記憶された複数の利得プロファイルから決定する利得プロファイル決定手段と、  
前記利得プロファイル決定手段によって決定された利得プロファイルに従った大きさの励起光を前記伝送路に出力する励起光源と、  
を備えたことを特徴とする請求項3に記載の光伝送システム。

【請求項5】 伝送路上に複数の集中型光増幅器を具備して構成される光伝送システムにおいて、  
前記伝送路に制御信号光を送信する信号光情報送信装置

と、  
前記制御信号光を受信する信号光情報受信装置と、  
前記伝送路を伝播する多重化された信号光を分波し、分波された信号光の多重化された波長のすべてまたは一部の信号光パワーを検知し、検知した各波長の信号光パワーに基づいて、多重化されたすべての波長に亘る信号光パワー分布の偏差を推測し、推測した信号光パワー分布の偏差を前記制御信号光の情報に含めて前記信号光情報送信装置に送信する第1の光増幅装置と、  
前記信号光情報受信装置が受信した前記制御信号光から前記信号光パワー分布の偏差を取り出し、取り出した信号光パワー分布の偏差を最小にするラマン利得制御情報を示した利得プロファイルを、あらかじめ記憶された複数の利得プロファイルから決定し、決定した利得プロファイルに従った大きさの励起光を前記伝送路に出力する第2の光増幅装置と、  
を備えたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項6】 前記集中型光増幅器は、エルビウム添加ファイバアンプであることを特徴とする請求項3～5のいずれか一つに記載の光伝送システム。

【請求項7】 伝送路上に、ラマン増幅をおこなうための複数の光増幅器を具備して構成される光伝送システムにおいて、  
前記伝送路に制御信号光を送信する信号光情報送信装置と、  
前記制御信号光を受信する信号光情報受信装置と、  
前記伝送路を伝播する多重化された信号光を分波し、分波された信号光の多重化された波長のすべてまたは一部の信号光パワーを検知し、検知した各波長の信号光パワーに基づいて、多重化されたすべての波長に亘る信号光パワー分布の偏差を推測し、推測した信号光パワー分布の偏差を前記制御信号光の情報に含めて前記信号光情報送信装置に送信し、前記信号光情報受信装置が受信した前記制御信号光から前記信号光パワー分布の偏差を取り出し、取り出した信号光パワー分布の偏差を最小にするラマン利得制御情報を示した利得プロファイルを、あらかじめ記憶された複数の利得プロファイルから決定し、決定した利得プロファイルに従った大きさの励起光を前記伝送路に出力する光増幅装置と、  
を備えたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項8】 前記信号光情報送信装置は、OSC (Optical Supervisory Channel) 送信機であり、  
前記信号光情報受信装置は、OSC 受信機であることを特徴とする請求項5～7のいずれか一つに記載の光伝送システム。

【請求項9】 伝送路上に励起光源を備えた局を2以上設け、それぞれの局で励起光源から出力される励起光を伝送路に結合させて同伝送路を伝送される波長多重信号光をラマン増幅させる光伝送システムにおいて、  
それぞれの局は信号光の波長数および各波長の信号光ご

との光パワー、または信号光の波長数および各波長の信号光ごとの対雑音比を監視してこれらに関する情報を取得し、取得した情報を信号光伝送用のチャンネル以外のチャンネルを用いて次局に伝送し、前局から伝送された情報を受信した次局は、受信した情報および自局で取得した情報に基づいて、励起光源から出力される励起光の波長およびパワーを制御することを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、EDFA等の集中型光増幅器によって構築された光伝送システムにおいて、集中型光増幅器で生じた利得偏差をラマン増幅によって補償する光増幅装置およびその光増幅装置を設けた光伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】近年のインターネットの急速な普及や企業内LAN間接続の急増等によって、通信発呼数の増加や動画のようなコンテンツデータの大容量化などを起因としたデータトラフィックの増大が問題となっている。そこで、データトラフィックの増加による通信パフォーマンスの低下を防止するために、WDM（波長多重伝送）システムがめざましい発展を遂げ普及している。

【0003】WDMシステムでは、複数の光信号をそれぞれ異なる波長に乗せることにより1本のファイバで従来の100倍にも及ぶ大容量伝送を実現している。特に既存のWDMシステムは、エルビウム添加ファイバアンプ（以下、EDFA）を用いることで、広帯域・長距離伝送を可能としている。ここで、EDFAとは、エルビウムという元素を添加した特殊な光ファイバに波長1480nm、あるいは波長980nmの励起レーザで通光した際に、伝送信号である波長1550nm帯の光が上記特殊ファイバの中で増幅されるという原理を応用した増幅器である。

【0004】図9は、従来のWDMシステムの概略構成を示すブロック図である。図9に示すように、従来のWDMシステムでは、光ファイバを伝送媒体とした伝送路99上に所定の区間ごとにEDFA（100, 110）を設けている。伝送路99を通過する信号光は、これら複数のEDFAに増幅されることによって、情報として認識されるだけの最低限のパワーを維持している。

【0005】EDFA（100, 110）は、通常、エルビウム添加ファイバ、そのエルビウム添加ファイバを励起するための励起レーザ、光アイソレータおよび光フィルタを備えて構成される（図示省略）。特に、EDFAでは、多重化された複数の信号光の各波長に対する増幅をおこなう必要があることから、上記した励起レーザを、発振中心波長の異なる複数の半導体レーザによって構成された高出力励起光源（HPU: High-power Pumping Unit）として備えている。特にこのHPUでは、同

一の発振中心波長についてさらに複数の半導体レーザを組み合わせて、より大きな励起光出力を確保することもできる。

【0006】また、このような多波長増幅をおこなうEDFA（100, 110）では、用意された発振中心波長の半導体レーザの個数以上に多重化された信号光に対し、波長ごとに増幅度が異ならないように、多重化された波長帯に亘って平坦な利得プロファイルを有する必要がある。すなわち、EDFA（100, 110）は、多重化された波長帯において各信号光の利得偏差を最小にすることが望ましい。

【0007】そこで、通常、EDFA（100, 110）は、所定の信号光パワーを有する信号光に対して最も平坦な利得プロファイルを示すように、利得等化フィルタ等によってその利得仕様が最適化されている場合が多い。図10は、従来のEDFAにおける利得プロファイルを説明するための説明図である。図10では、例として信号光パワーが-17dBmの場合と-25dBmの場合の利得プロファイルが示されている。特に、このEDFAでは、-17dBmの信号光パワーが入力された際に、波長1540nm～1580nmに亘って最も均一な利得が得られるように調整されている。一方、-25dBmの信号光パワーが入力された際には、-17dBmの信号光パワーが入力された際と比較して短波長側の利得偏差が大きく、均一な利得が得られない。

【0008】よって、EDFAを用いたWDMシステムでは、EDFAに入力する信号光のパワーを、そのEDFAの利得プロファイルが最も平坦となるようなパワーとなるように設計することが望ましい。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、中継数が100を超えるような超長距離のWDMシステムでは、EDFAにおける利得偏差が微小であっても、中継段数が増加するにしたがって蓄積されていくため、利得帯域が狭まるという問題があった。

【0010】図11は、この問題を説明するための説明図である。図11（a）は、図9に示す初段のEDFA 100の出力ポートPAでの出力スペクトルを示し、図11（b）は、図9に示す次段のEDFA 110の出力ポートPBでの出力スペクトルを示している。図11に示すように、同一の情報を示す信号光であっても、連続して設置されたEDFAの出力間では、異なる信号光パワー分布として出力される。これは、上記した微小な利得偏差によって信号光パワーが多波長に亘って完全に平坦に増幅されないということだけでなく、その利得偏差によって、信号光が上記した最適なパワーから外れてしまい、次段のEDFAにおいて平坦な利得プロファイルによる増幅を受けることができないということに起因する。

【0011】特に、EDFAでは、ASE（Amplified

Spontaneous Emission) 雑音の発生を避けて通れず、図11(a)に示すように、信号光スペクトラムはASE成分120とともに同じ利得プロファイルによる増幅を受ける。よって、図11(b)に示すように、ASE成分130もまた利得偏差の影響を受ける。

【0012】一方で、EDFAは、光信号を励起する部分が集中している集中型光アンプであって、雑音の累積につながる伝送路光ファイバの伝播損失や、信号の歪みや雑音の原因となる非線形性を受けるという制限があった。さらに、EDFAは、エルビウムバンドギャップエネルギーによって定まる波長帯での光増幅を可能とするものであり、さらなる多重化を実現するのに必要な広帯域化が困難であった。

【0013】そこで、EDFAに代わる光増幅装置として、ラマンアンプが注目されている。ラマンアンプは、EDFAのようにエルビウム添加ファイバといった特殊なファイバを必要とせずに、通常の伝送路光ファイバを利得媒体とする分布型光アンプである。

【0014】しかしながら、このラマンアンプを用いたWDMシステムでも、各ラマンアンプに設置されている2以上の励起光源を常に一定の出力パワーで動作させているため次のような問題があった。

(1) ラマン増幅では信号光が伝送される伝送路を増幅媒体とするため、その増幅特性は伝送路(光ファイバ)の種類に依存する。例えばSMF(Single Mode optical Fiber)はDSF(Dispersion Shift optical Fiber)に比べて約半分の効率(ラマン利得/励起光パワー)となる。このため励起光源の出力パワーが一定のまま伝送路を構成している光ファイバの種類が変わると、当該伝送路の増幅特性が変化し、そのままでは良好な伝送品質を維持できなくなる。

(2) ラマン増幅では信号光が伝送される伝送路を増幅媒体とするため、その増幅特性は伝送路(光ファイバ)の伝送損失にも依存する。従って、励起光源の出力パワーが一定のまま伝送路を構成している光ファイバの伝送損失に変動があると増幅特性も変動し、良好な伝送品質を維持できなくなる。さらに、伝送路の伝送損失が大きくなれば、信号光が大きな損失を受けるばかりでなく、励起光も大きな損失を受けてラマン利得が小さくなるので、信号光パワーの変動は伝送路の損失変動よりも大きくなってしまう。

(3) 波長多重光信号をラマン増幅する場合、その増幅利得は信号光の波長数(チャンネル数)および各波長の信号光ごとの光パワーに依存する。従って、励起光源の出力パワーが一定のまま信号光のチャンネル数に増減があると、増幅特性が変動し、良好な伝送品質を維持できなくなる。

【0015】特に最近の研究によると、ラマンアンプは単体で用いるのではなくEDFAと併用することで最適なシステムを構築できることが分かっており、EDFA

のみを用いたシステムより伝送容量を数倍から10倍以上向上できると期待されている。ところが、このラマンアンプを用いたWDMシステムは未だ確立されておらず、具体的な投入が検討されている段階に留まっている。

【0016】本発明は上記に鑑みてなされたものであって、EDFA等や伝送路を通過することにより多波長に亘って歪みの生じた信号光を、ラマンアンプによって平坦化し、より安定で信頼性の高い長距離伝送を実現することができる光増幅装置および光伝送システムを提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1にかかる発明は、多重化された信号光を入力し、入力した信号光に対し、多重化された波長間の信号光パワーの偏差が最小となる利得でラマン増幅をおこなうことを特徴としている。

【0018】この発明によれば、利得偏差によって波長間でパワーのばらついた信号光を、ラマン増幅によって、平坦となるように補正することができる。

【0019】また、請求項2にかかる発明は、伝送路を伝播する多重化された信号光を分波する分波手段と、前記分波手段によって分波された信号光の多重化された波長のすべてまたは一部の信号光パワーを検知するモニタ手段と、前記モニタ手段によって検知された各波長の信号光パワーに基づいて、多重化されたすべての波長に亘る信号光パワー分布の偏差を推測する推測手段と、前記推測手段によって推測された信号光パワー分布の偏差を最小にするラマン利得制御情報を示した利得プロファイルを、あらかじめ記憶された複数の利得プロファイルから決定する利得プロファイル決定手段と、前記利得プロファイル決定手段によって決定された利得プロファイルに従った大きさの励起光を前記伝送路に出力する励起光源と、を備えたことを特徴としている。

【0020】この発明によれば、分布増幅型のラマン増幅器の構成に推測手段と利得プロファイル決定手段とを備えることで、入力された信号光を、多重化された波長に亘って平坦な利得プロファイルとなるように増幅させることができる。

【0021】また、請求項3にかかる発明は、伝送路上に複数の集中型光増幅器を具備して構成される光伝送システムにおいて、前記集中型光増幅器間の伝送路上に設けられるとともに、前段の集中型光増幅器によって増幅された多重化された信号光を入力し、入力した信号光に対し、多重化された波長間の信号光パワーの偏差が最小となる利得でラマン増幅をおこなう光増幅装置を備えたことを特徴としている。

【0022】この発明によれば、分布増幅型のラマン増幅によって、集中型光増幅器に対し、利得偏差を最小限に抑えた平坦な信号光パワーの信号光を入力することが

できる。

【0023】また、請求項4にかかる発明は、請求項3に記載の光伝送システムにおいて、前記光増幅装置が、前記伝送路を伝播する多重化された信号光を分波する分波手段と、前記分波手段によって分波された信号光の多重化された波長のすべてまたは一部の信号光パワーを検知するモニタ手段と、前記モニタ手段によって検知された各波長の信号光パワーに基づいて、多重化されたすべての波長に亘る信号光パワー分布の偏差を推測する推測手段と、前記推測手段によって推測された信号光パワー分布の偏差を最小にするラマン利得制御情報を示した利得プロファイルと、あらかじめ記憶された複数の利得プロファイルから決定する利得プロファイル決定手段と、前記利得プロファイル決定手段によって決定された利得プロファイルに従った大きさの励起光を前記伝送路に出力する励起光源と、を備えたことを特徴としている。

【0024】この発明によれば、分布増幅型のラマン増幅器の構成に推測手段と利得プロファイル決定手段とを備えることで、集中型光増幅器に入力する信号光を、多重化された波長に亘って平坦な利得プロファイルとなるように増幅させることができる。

【0025】また、請求項5にかかる発明は、伝送路上に複数の集中型光増幅器を具備して構成される光伝送システムにおいて、前記伝送路に制御信号光を送信する信号光情報送信装置と、前記制御信号光を受信する信号光情報受信装置と、前記伝送路を伝播する多重化された信号光を分波し、分波された信号光の多重化された波長のすべてまたは一部の信号光パワーを検知し、検知した各波長の信号光パワーに基づいて、多重化されたすべての波長に亘る信号光パワー分布の偏差を推測し、推測した信号光パワー分布の偏差を前記制御信号光の情報に含めて前記信号光情報送信装置に送信する第1の光増幅装置と、前記信号光情報受信装置が受信した前記制御信号光から前記信号光パワー分布の偏差を取り出し、取り出した信号光パワー分布の偏差を最小にするラマン利得制御情報を示した利得プロファイルと、あらかじめ記憶された複数の利得プロファイルから決定し、決定した利得プロファイルに従った大きさの励起光を前記伝送路に出力する第2の光増幅装置と、を備えたことを特徴としている。

【0026】この発明によれば、後方励起によるラマン増幅によって、次段の集中型光増幅器に対して、利得偏差を最小に抑えた信号光を入力することができる。

【0027】また、請求項6にかかる発明は、請求項3～5に記載の光伝送システムにおいて、前記集中型光増幅器は、エルビウム添加ファイバアンプであることを特徴としている。

【0028】この発明によれば、エルビウム添加ファイバアンプによる利得偏差による信号光の歪みを補償することができる。

【0029】また、請求項7にかかる発明は、伝送路上に、ラマン増幅をおこなうための複数の光増幅器を具備して構成される光伝送システムにおいて、前記伝送路に制御信号光を送信する信号光情報送信装置と、前記制御信号光を受信する信号光情報受信装置と、前記伝送路を伝播する多重化された信号光を分波し、分波された信号光の多重化された波長のすべてまたは一部の信号光パワーを検知し、検知した各波長の信号光パワーに基づいて、多重化されたすべての波長に亘る信号光パワー分布の偏差を推測し、推測した信号光パワー分布の偏差を前記制御信号光の情報に含めて前記信号光情報送信装置に送信し、前記信号光情報受信装置が受信した前記制御信号光から前記信号光パワー分布の偏差を取り出し、取り出した信号光パワー分布の偏差を最小にするラマン利得制御情報を示した利得プロファイルと、あらかじめ記憶された複数の利得プロファイルから決定し、決定した利得プロファイルに従った大きさの励起光を前記伝送路に出力する光増幅装置と、を備えたことを特徴としている。

【0030】この発明によれば、分布増幅型のラマン増幅器の構成に推測手段と利得プロファイル決定手段とを備えることで、伝送路上に伝播させる信号光を、多重化された波長に亘って平坦な利得プロファイルとなるように増幅させることができる。

【0031】また、請求項8にかかる発明は、請求項5～7に記載の光伝送システムにおいて、前記信号光情報送信装置が、OSC (Optical Supervisory Channel) 送信機であり、前記信号光情報受信装置が、OSC 受信機であることを特徴としている。

【0032】この発明によれば、第1の光増幅装置から第2の光増幅装置に推測された信号光パワー分布の偏差を送信する手段として、OSC 送信機とOSC 受信機とからなる系を利用することができる。

【0033】また、請求項9にかかる発明は、伝送路上に励起光源を備えた局を2以上設け、それぞれの局で励起光源から出力される励起光を伝送路に結合させて同伝送路を伝送される波長多重信号光をラマン増幅させる光伝送システムにおいて、それぞれの局は信号光の波長数および各波長の信号光ごとの光パワー、または信号光の波長数および各波長の信号光ごとの対雑音比を監視してこれらに関する情報を取得し、取得した情報を信号光伝送用のチャンネル以外のチャンネルを用いて次局に伝送し、前局から伝送された情報を受信した次局は、受信した情報および自局で取得した情報に基づいて、励起光源から出力される励起光の波長およびパワーを制御することを特徴としている。

【0034】この発明によれば、信号光の伝送媒体であるとともに同信号光の増幅媒体でもある光ファイバの種類変更や伝送損失の変動が生じたり、伝送される信号光の波長数や各波長の信号光ごとの光パワーに変動が生じ

たりしても、その変動に応じて励起光波長および励起光パワーを変化させて常に好適または最適な増幅特性を確保し、良好な伝送品質を維持することができる。

#### 【0035】

【発明の実施の形態】以下に、本発明にかかる光増幅装置および光伝送システムの実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0036】（実施の形態1）まず、実施の形態1にかかる光増幅装置およびその光増幅装置を用いた光伝送システムについて説明する。図1は、実施の形態1にかかる光増幅装置およびその光増幅装置を用いた光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。図1において、光伝送システムは、伝送路9上の信号光を増幅するEDFA20と、ラマン増幅によって分布型の光増幅をおこなう光増幅装置10と、を備えて構成される。

【0037】光増幅装置10は、光分波器21、モニタ部40、利得プロファイル推測部11、利得プロファイル決定部13、利得制御部12、利得プロファイル記憶部14、光合波器22およびHPU30を備えて構成される。

【0038】モニタ部40は、光分波器21によって分波された信号光を受光し、その信号光パワーを検出する手段であり、フォトダイオード等の受光素子によって構成される。図2は、モニタ部40の構成例を示す図である。図2において、モニタ部40は、光分波器21によって分波された信号光を順次入力する複数の狭帯域フィルタ50a、50b、...、50y、50zと、各狭帯域フィルタを透過した信号光をそれぞれ受光する受光素子60a、60b、...、60y、60zとで構成される。特に、このモニタ部40では、多重化された信号光を上記した複数の狭帯域フィルタ50a、50b、...、50y、50zによって、チャンネル別の信号光、すなわち多重前の波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ 、...、 $\lambda_y$ 、 $\lambda_z$ の信号光に分波して取り出し、取り出した信号光ごとの信号光パワーを検出する役割を担う。

【0039】利得プロファイル推測部11は、モニタ部40において検出されたすべてまたは一部の波長の信号光パワーを示す監視情報（信号光パワー分布）を受け取り、受け取った信号光パワー分布から、多重化された波長帯についての利得プロファイルを推測する手段である。なお、ここでいう利得プロファイルとは、伝送路9を伝播している信号光の信号光パワー分布、すなわち所定の波長範囲に亘る信号光パワーの分布が、その波長範囲において平坦である場合と比較して、どのように変化しているかを示すものをいう。換言すれば、利得プロファイル推測部11は、多重化された信号光がどのような利得偏差によって増幅されたかを推測する。

【0040】利得プロファイル決定部13は、利得プロファイル推測部11によって推測された利得プロファイ

ルの偏差を相殺するような利得プロファイルを、利得プロファイル記憶部14に記憶された「利得プロファイル表」から選出して決定する手段である。

【0041】また、利得制御部12は、利得プロファイル決定部13によって決定された利得プロファイルが示す利得制御パラメータに従ってHPU30の各レーザユニットの発振出力を制御する手段であり、APC（自動レーザ出力制御回路）等で構成される。HPU30は、利得制御部12による制御に従った利得の励起光を出力する手段である。

【0042】図3は、HPU30の構成例を示す図である。図3において、HPU30は、発振中心波長が異なる6つのレーザユニットLD1～LD6と、マッハツェンダ型のWDMカプラ31とで構成される。さらに、各レーザユニットLD1～LD6は、同一発振中心波長の2つのファブリペロー型半導体レーザ34を備え、各半導体レーザ34のレーザ出力をファイバブラッググレーティング33（FBG）で波長安定化するとともに、偏波合成器（PBC）32で合波して一つの出力としている。なお、このPBC32による偏波合成は、各発振中心波長の励起パワーを増加させるとともにラマン利得の偏波依存性を低減するための措置である。また、ファイバブラッググレーティングを用いたこの例は、レーザ出力の波長安定化の一手段であって、他の手段によって波長安定化が実現されてもよい。

【0043】各レーザユニットLD1～LD6から出力されたレーザ出力は、WDMカプラ31によってさらに合波され、高出力の多重化された励起光として出力される。HPU30から出力された励起光は光合波器22を介して、伝送路9である光ファイバを通光する。なお、図1においては、前方励起の例を示しており、光合波器22によって合波された励起光は、信号光と同じ進行方向に向かって伝送路9内を通光する。

【0044】伝送路9内を高出力の励起光が通光することにより、伝送媒体である光ファイバの材質特性に基づいて、励起光よりも110nm分長波長側にシフトしたラマン散乱光が発生し、誘導ラマン散乱過程を経て、励起光のエネルギーが信号光に遷移する。これにより、信号光が増幅される。

【0045】つぎに、実施の形態1にかかる光増幅装置および光伝送システムの動作について説明する。図4は、実施の形態1にかかる光増幅装置および光伝送システムの動作を説明するためのフローチャートである。まず、光増幅装置10は、モニタ部40によって、伝送路9上を伝播している信号光を検出し、その信号光パワーの値を取得する（ステップS101）。

【0046】ここで、伝送路9を伝播する信号光のうち、その信号光を構成するすべての波長の信号光についての信号光パワーを取得しなくてもよい。すなわち、モニタ部40は、図2に示したように、多重化された信号

光を構成する波長（チャネル）のうちの一部の波長についての信号光パワーを取得する。

【0047】図5は、これら光増幅装置内の各ノードにおける信号光パワー分布の例を説明するための説明図である。ここでは、例として、信号光の多重波長数が10である場合に、モニタ部40が、そのうちの4チャネルの信号光パワーを取り出して利得プロファイル推測部11に出力するものとする。図5(a)は、図1に示すノードNA、すなわち光分波器21によって分波された直後の信号光の信号光パワー分布（出力スペクトラム）を示す。図5(a)に示すように、モニタ部40に入力される前の段階での信号光は、10波長分のスペクトルが多重化されている。また、これらスペクトルの大きさは、等しく平坦化されるのが理想であるが、同図では、EDFA20の利得偏差等による影響によってばらつきが生じている。

【0048】図5(b)は、モニタ部40によって取り出された信号光パワー分布（出力スペクトラム）を示す。図5(b)に示すように、多重化された信号光を構成する10チャネルのうち所定の4チャネルに対応するスペクトルのみが取り出される。

【0049】そして、利得プロファイル推測部11は、モニタ部40によって取り出された所定のスペクトルのみで構成される信号光パワー分布から、利得プロファイルを推測する（ステップS102）。すなわち、図5(b)に示した信号光パワー分布から、図5(a)に示した信号光パワー分布を復元し、復元した信号光パワー分布からさらにその利得偏差を算出する。なお、以下の説明において、ステップS102で推測された利得プロファイルを推測利得プロファイルと称する。

【0050】利得プロファイル推測部11によって推測された推測利得プロファイルは、利得プロファイル決定部13に入力される。利得プロファイル決定部13では、まず、利得プロファイル記憶部14に記憶された複数の利得プロファイルを順に読み込む。

【0051】図6は、利得プロファイル記憶部14に記憶された「利得プロファイル表」の例を示す図である。図6では、例として3つの利得プロファイルTa、Tb、Tcを示している。なお、同図において、Pa、Pb、Pcは、それぞれ利得プロファイルTa、Tb、Tcをグラフ化した図である。

【0052】例えば、図6において、利得プロファイルTaは、HPU30内のレーザユニットLD1～LD6に対して、順に励起光パワー100mW、50mW、100mW、100mW、150mW、150mWの出力でレーザ発振するように指示することを示している。このように利得プロファイルは、各レーザユニットの励起光パワー分布を示す。

【0053】利得プロファイル決定部13は、上記した利得プロファイルの一つを取り出すと、取り出した利得

プロファイルに上記推測利得プロファイルを掛け合わせる演算をおこなう（ステップS103）。この演算結果は、伝送路9を伝播している信号光に対して上記取り出した利得プロファイルに従った増幅をおこなった場合に得られる新たな信号光パワー分布を意味する。そして、利得プロファイル決定部13は、一旦、この演算結果を保持し、他の利得プロファイルを取り出して上記同様の手順を繰り返す。

【0054】利得プロファイル記憶部14に記憶されたすべての利得プロファイルについて上記演算が終わると、利得プロファイル決定部13は、つぎに、各演算結果から、最も平坦な信号光パワー分布が得られる利得プロファイルを選出する（ステップS104）。利得プロファイル決定部13は、このようにして利得プロファイルを選出すると、その利得プロファイルが示す各励起光パワーの制御信号を利得制御部12に入力する。利得制御部12は、入力された制御信号に従って、HPU30内の各レーザユニットLD1～LD6の利得を変更する（ステップS105）。

【0055】これにより、図1に示すノードNB、すなわち本実施の形態にかかる光増幅装置10によるラマン増幅を受けた後の信号光は、図5(c)に示すように、各波長に亘って平坦な信号光パワーを有することになる。

【0056】なお、上述した光増幅装置10において、モニタ部40で検出する波長を固定してしまうと、他の波長の信号光パワーについては、利得プロファイル推測部11による推測だけでしか取得できないことになる。特に、本実施の形態にかかる光増幅装置10を伝送路9上に複数個設ける光伝送システムでは、実際の信号光パワーと推測による信号光パワーとの誤差が大きい場合に、光増幅装置10の段数を重ねることによってその誤差が強調されてしまい、正確な利得プロファイルの決定がおこなわれなくなる。よって、光増幅装置10ごとに、モニタ部40において検出対象となる波長（チャネル）を変更させることが好ましい。

【0057】以上に説明したとおり、実施の形態1にかかる光増幅装置によれば、伝送路9を伝播する信号光の信号光パワー分布が、多重化された波長帯に亘って平坦となるような利得プロファイルに従って、その信号光に対するラマン増幅をおこなうので、EDFA20等の利得偏差によって波長間で生じたばらつきを補正することができる。

【0058】また、実施の形態1にかかる光伝送システムによれば、EDFA20同士の間上記した光増幅装置10を設けることで、次段のEDFA20に、多波長に亘って常に平坦な信号光パワーの信号光を入力することができ、従来のように中継段数の増加にともなって利得偏差が重畳されることが防止されるとともに、ラマン増幅を組み合わせたことで、伝送距離をより長距離にす

ることができる。

【0059】なお、以上に説明した実施の形態1では、EDFAを用いた光伝送システムに、本発明にかかる光増幅装置を設けて、信号光パワーの補正をおこなうとしたが、半導体レーザ増幅器等のEDFA以外の集中型の光増幅器によって構築された光伝送システムに対しても同様に適用することができる。

【0060】さらに、以上に説明した実施の形態1では、EDFA等の集中型光増幅器を用いた光伝送システムを示したが、本発明にかかる光増幅装置は、集中型光増幅器を用いないラマン増幅のみをおこなう光伝送システムに対しても適用することができる。

【0061】(実施の形態2) つぎに、実施の形態2にかかる光増幅装置およびその光増幅装置を用いた光伝送システムについて説明する。実施の形態1にかかる光増幅装置および光伝送システムが光増幅装置によるラマン増幅を前方励起でおこなったのに対し、実施の形態2にかかる光増幅装置および光伝送システムでは、光増幅装置によるラマン増幅を後方励起でおこなうことを特徴としている。

【0062】図7は、実施の形態2にかかる光増幅装置および光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。なお、図7において、図1と共通する部分には同一の符号を付してその説明を省略する。図7に示す光増幅装置および光伝送システムにおいて図1と異なる点は、実施の形態1に示した光増幅装置が、光増幅装置前段部60と光増幅装置後段部70とに分離し、2つのEDFA20間において、前段のEDFA20の直後に光増幅装置前段部60を設け、次段のEDFA20の直前に光増幅装置後段部70を設けていることである。

【0063】また、図7に示す光伝送システムでは、制御情報等のSV信号を送信するOSC (Optical Supervisory Channel) 送信機51と、OSC送信機51から出力されたSV信号を伝送路9に伝送する光合波器24と、上記SV信号を受信するOSC受信機52と、伝送路9上のSV信号をOSC受信機52に導く光分波器25と、を備えている。

【0064】図7において、光増幅装置前段部60は、実施の形態1で説明した光増幅装置の構成要素のうち、光分波器21、モニタ部40、利得プロファイル推測部11を備え、さらに、光アイソレータ23とSV処理部15を備えている。ここで、光アイソレータ23は、励起光等の逆戻り光を遮断する役割を担い、SV処理部15は、利得プロファイル推測部11において推測された推測利得プロファイルをSV信号として送信可能なように整形する手段である。なお、このSV処理部15は、推測利得プロファイル以外の装置故障情報等の制御情報を入力して、OSC送信機51に送信することもできる。

【0065】また、光増幅装置後段部70は、実施の形

態1で説明した光増幅装置の構成要素のうち、光合波器22、HPU30、利得制御部12、利得プロファイル決定部13、利得プロファイル記憶部14を備え、さらに、SV処理部16を備えている。ここで、SV処理部16は、OSC受信機52が受信したSV信号から、上記推測利得プロファイルを抽出する手段である。

【0066】実施の形態1にかかる光伝送システムでは、ラマン増幅前の信号光の信号光パワー値を取得し、取得した信号光パワー値に基づいてHPU30の利得制御をおこなうことを特徴としていたが、これを、後方励起によってラマン増幅を実現する光伝送システムに適用する場合、上記した構成のように、光増幅装置を光増幅装置前段部60と光増幅装置後段部70とに二分し、両者を、後方に位置するEDFA20の直後と、前方に位置するEDFA20の直前に配置する必要がある。

【0067】よって、実施の形態2にかかる光増幅装置および光伝送システムの動作は、利得プロファイル推測部11において推測された推測利得プロファイルが、SV処理部15、OSC送信機51、OSC受信機52およびSV処理部16を介して利得プロファイル決定部13に入力される点以外は、実施の形態1に説明したとおりである。

【0068】以上に説明したとおり、実施の形態2にかかる光増幅装置および光伝送システムによれば、後方励起によってラマン増幅をおこなう場合にも、実施の形態1と同様な効果を享受することかできる。

【0069】(実施の形態3) つぎに、実施の形態3にかかる光増幅装置およびその光増幅装置を用いた光伝送システムについて説明する。実施の形態2にかかる光増幅装置および光伝送システムがEDFAを備えた光伝送システムに対して後方励起のラマン増幅をおこなうものであったのに対し、実施の形態3にかかる光増幅装置および光伝送システムでは、特にEDFAを用いない光伝送システムに対しても適用可能な後方励起のラマン増幅をおこなうことを特徴としている。

【0070】図8は、実施の形態3にかかる光増幅装置および光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。なお、図8において、図7と共通する部分には同一の符号を付してその説明を省略する。図8に示す光増幅装置および光伝送システムにおいて図7と異なる点は、光増幅装置前段部60と光増幅装置後段部70とを一体の光増幅装置80としたことである。

【0071】よって、図8に示す制御回路82は、自局である光増幅装置80のモニタ部40で得られた監視情報と図示しない前局である光増幅装置80から伝送された制御情報に基づいてHPU30の利得制御をおこなう。

【0072】ここで、最適な伝送品質を維持するためには、実施の形態1においても説明したように、伝送路9上のそれぞれの局(光増幅装置80)において各チャネ

ルの信号光の光パワーが所要値以上であること、およびそれぞれの局において各チャネルの信号光間の光パワーの偏差が所要値以下であること、の2つの要求を満たす必要がある。

【0073】前者の要求を満たすためにはラマン増幅利得が十分である必要がある。特にEDFA等の他の光アンプを併用しないシステムでは伝送路9の伝搬損失を補償し得るだけのラマン増幅利得が必要である。後者の要求を満たすためには、各波長（チャネル）の信号光に対するラマン増幅利得がほぼ一定である必要がある。すなわち、ラマン増幅利得が信号光の波長に拘らずほぼ一定である必要がある。

【0074】そこで、図8に示す制御回路82は、実施の形態1で説明した利得制御方法以外にも、自局である光増幅装置80のモニタ部40で得られた監視情報と図示しない前局である光増幅装置80から伝送された制御情報（波長数および各波長の信号光ごとの光パワー）から、各波長（チャネル）の信号光における実効的な利得、すなわち、（光増幅による利得）－（伝送路の伝搬損失）を算出し、この値が所要値（例えば0dB）以上になり、かつ各波長の信号光間の利得偏差が所要値（例えば1dB）以下になるような励起光波長およびパワーを算出して、これが実現されるようにHPU30に指令を出力することもできる。

【0075】以上に説明したとおり、実施の形態3にかかる光増幅装置および光伝送システムによれば、EDFA等の他の光アンプを併用しない光伝送システムにおいて後方励起によるラマン増幅をおこなう場合にも、実施の形態1と同様な効果を享受することができる。

【0076】なお、以上に説明した実施の形態1～3では、モニタ部40において、各波長の信号光の光パワーを監視したが、各波長の信号光の対雑音比（OSNR：Optical Signal to Noise Ratio）を監視するようにしてもよい。これにより、高いOSNRが必要なチャネル（例えばビットレートが他よりも高いチャネル）の信号光を選択的に強く増幅することも可能である。

【0077】

【発明の効果】以上に説明したように本発明にかかる光増幅装置によれば、伝送路を伝播する多重化された信号光に対して、多重化された波長間の利得偏差が最小となるようにラマン増幅をおこなうので、次段の集中型光増幅器等の光増幅装置に対して、平坦なプロファイルを示すパワーの信号光を入力することができ、これにより利得偏差の重畳を減減することができるという効果を奏する。

【0078】また、本発明にかかる光伝送システムによれば、従来のEDFA等の集中型光増幅器によって構築された光伝送システムにおいて、集中型光増幅器間に上記した光増幅装置を設けることにより、次段の集中型光増幅器において、多波長に亘って常に均一な増幅をおこ

なうことができ、従来のように中継段数の増加にともなう利得偏差が重畳されることが防止され、集中型光増幅器と分散型光増幅器による二重の利得によって、信号光の伝送距離をより長距離に伸ばすことができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施の形態1にかかる光増幅装置およびその光増幅装置を用いた光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

【図2】実施の形態1にかかる光増幅装置のモニタ部の構成例を示す図である。

【図3】実施の形態1にかかる光増幅装置のHPUの構成例を示す図である。

【図4】実施の形態1にかかる光増幅装置および光伝送システムの動作を説明するためのフローチャートである。

【図5】実施の形態1にかかる光増幅装置内の各ノードにおける信号光パワー分布の例を説明するための説明図である。

【図6】実施の形態1にかかる光増幅装置および光伝送システムにおいて記憶される「利得プロファイル表」の例を示す図である。

【図7】実施の形態2にかかる光増幅装置およびその光増幅装置を用いた光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

【図8】実施の形態3にかかる光増幅装置およびその光増幅装置を用いた光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

【図9】従来のWDMシステムの概略構成を示すブロック図である。

【図10】従来のEDFAにおける利得プロファイルを説明するための説明図である。

【図11】従来のWDMシステムの問題を説明するための説明図である。

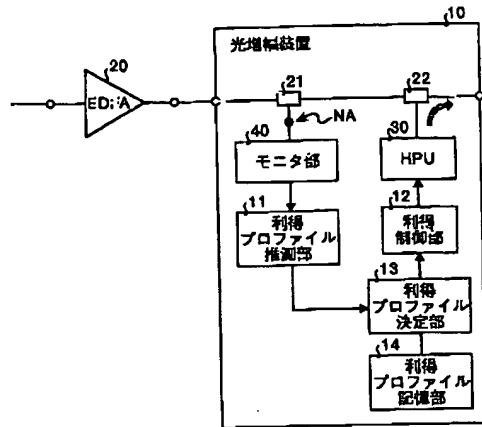
【符号の説明】

- 9, 99 伝送路
- 10, 80 光増幅装置
- 11 利得プロファイル推測部
- 12 利得制御部
- 13 利得プロファイル決定部
- 14 利得プロファイル記憶部
- 15, 16 SV処理部
- 20, 100, 110 EDFA
- 21, 25 光分波器
- 22, 24 光合波器
- 23 光アイソレータ
- 30 HPU
- 31 WDMカブラ
- 33 ファイバブラッググレーティング
- 34 半導体レーザ

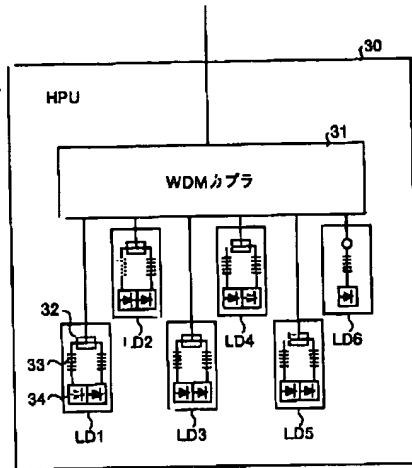
40 モニタ部  
51 OSC送信機  
52 OSC受信機  
60 光増幅装置前段部

70 光増幅装置後段部  
120, 130 ASE成分  
LD1~LD6 レーザユニット  
PA, PB 出力ポート

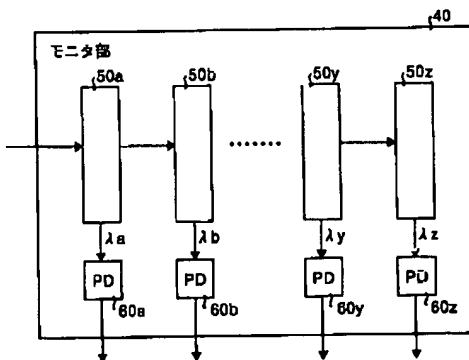
【図1】



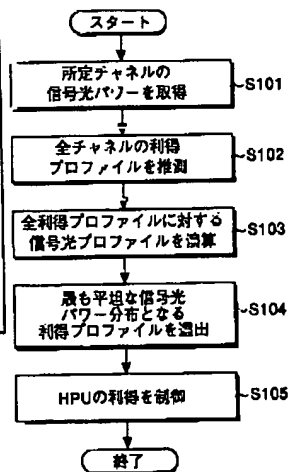
【図3】



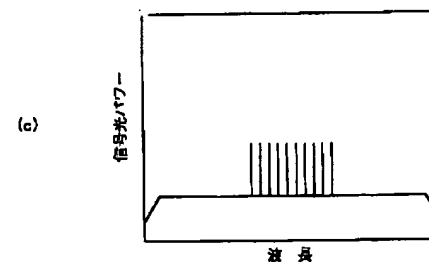
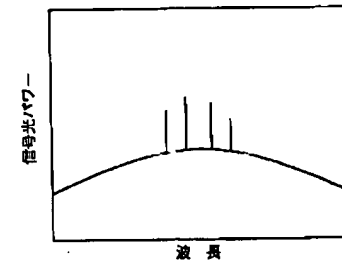
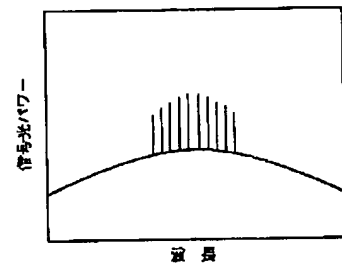
【図2】



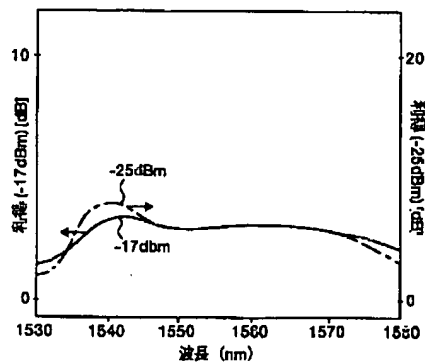
【図4】



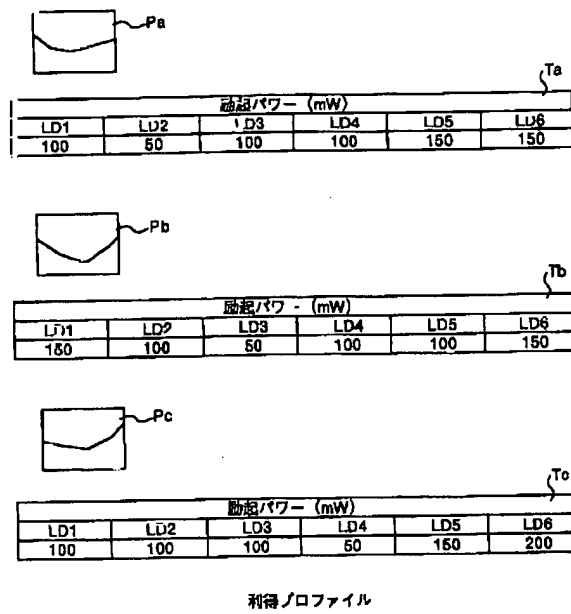
【図5】



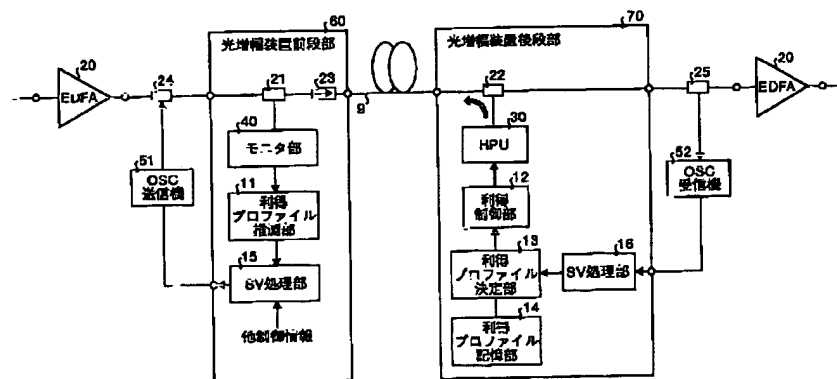
【図10】



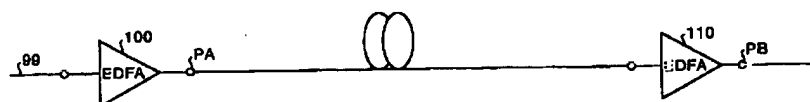
【図6】



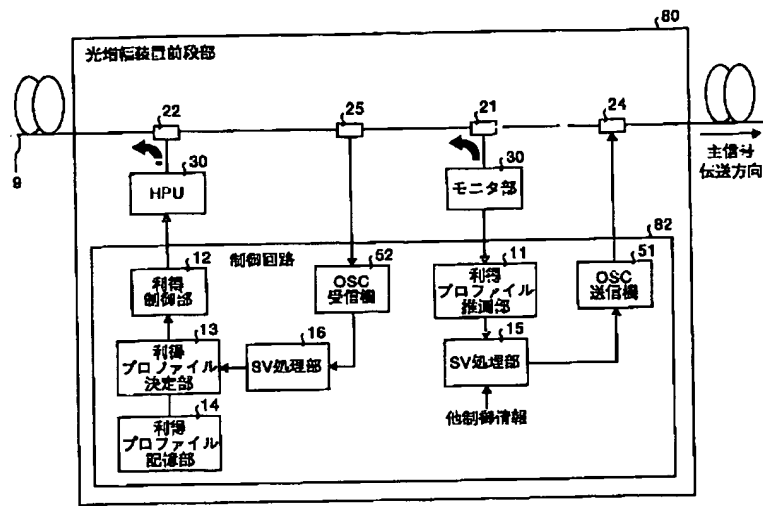
【図7】



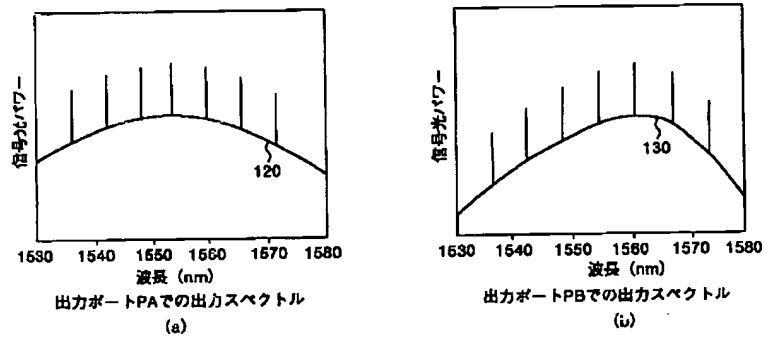
【図9】



【図8】



【図11】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

(参考)

H 0 4 B 10/14

10/16

10/17

F ターム(参考) 2K002 AA02 AB30 BA01 CA15 DA10

EB15 HA23

5F072 AB07 AK06 HH02 JJ20 PP07

QQ07 RR01 YY17

5K002 AA06 CA10 CA13 DA02 EA05

FA01